

核能簡訊

雙月刊

中華民國九十六年四月號



No. 105

美國乾式中期貯存設施介紹

美國如何安全管理用過核子燃料

為什麼需要乾式中期貯存

世界各國用過核子燃料的貯存概況

核能 簡訊

APR 中華民國九十六年四月號



CONTENTS

出版單位 中華民國核能學會
財團法人核能資訊中心
地　　址 新竹市光復路二段一〇一號
研發大樓208室
電　　話 (03) 5711808
傳　　真 (03) 5725461
網　　址 http://www.nicenter.org.tw
E－mail nic@nicenter.twmail.net
發 行 人 朱鐵吉
編輯委員 李四海、徐懷瓊、翁寶山、黃文盛、萬永亮、劉仁賢、潘欽、蔡顯修、謝牧謙、鍾堅、顏上惠、蕭金益（依筆畫順序）
主　　編 朱鐵吉
顧　　問 喻冀平
文　　編 鍾玉娟、翁明琪、陳婉玉
美　　編 陳慧欣
編 印 者 信誠廣告事業有限公司
地　　址 台北市興安街100號3樓之5

■ 行政院新聞局出版事業登記證．局版臺誌字第 851 號

編｜者｜的｜話

我國當今最火熱的核能議題，就是乾式中期貯存設施的興建。目前全球約有17萬公噸的用過核子燃料存放在各種型式的貯存設施中，約有1.2萬公噸的用過核子燃料是乾式中期貯存，且數量正逐年增加。乾式中期貯存具有運轉維護容易、操作成本低廉、不易腐蝕、無輻射外釋顧慮及不會產生二次廢棄物等優點，是先進且成熟的貯存技術。在日本、美國、德國、法國等十多個國家都已使用多年，已廣為核能電廠所使用。以美國為例，全國已有36個乾式中期貯存設施持續運轉中，另有14個正規劃興建中；尤其是美國Surry電廠的乾式中期貯存作業更是已超過20年以上。其他世界各國也有越來越多的核能電廠都在廠區內興建用過核子燃料的乾式中期貯存設施。

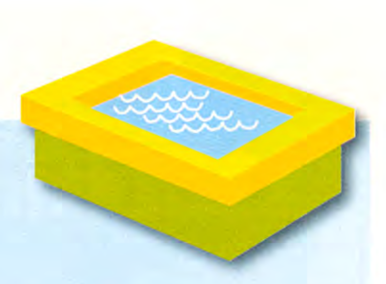
這是台灣首次採用這種方式貯存用過核子燃料，對於整個貯存設施場址輻射劑量的要求限值每年0.05毫西弗，是一般人限值的1/20，為美國法規標準的1/5；此外，還得經由環保署環境影響評估委員會，審查相關環境差異分析及對策檢討報告，執行條件規定得非常嚴苛。

一般民眾多是對乾式中期貯存設施不瞭解而產生恐懼。本期以詳細圖解及文字說明乾式中期貯存設施的構造與建置規格，以及用過核子燃料的處置過程，再借鏡美國如何管理用過核子燃料。讓民眾多一分瞭解、少一分疑慮。

為什麼需要乾式中期貯存？

◆黃栗來 譯

用過核子燃料 3 階段營運方式



第 1 階段 ◇ 水池冷卻

用過核子燃料自反應器退出時，還有殘餘的熱量及輻射，必須先存放在核能電廠內的用過核子燃料水池中，進行冷卻。



第 2 階段 ◇ 乾式貯存

用過核子燃料在水池中經多年冷卻，殘餘熱及輻射已大幅降低，可自水池中移出，在電廠內另行興建貯存設施進行乾式貯存。

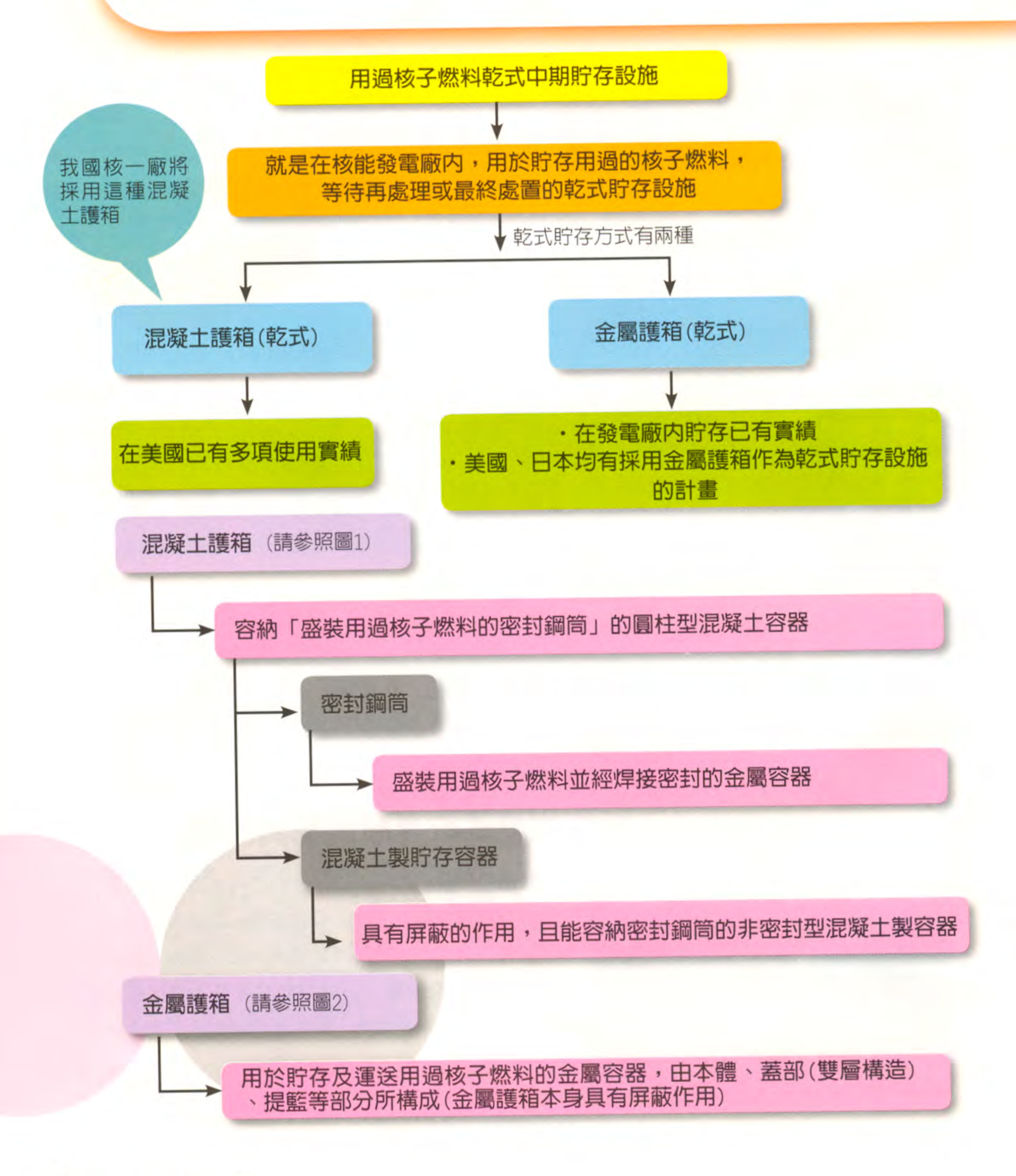
第 3 階段 ◇ 最終處置

在乾式貯存期間，可以將用過核子燃料取出，進行再處理以回收鈾與鈽等可利用的物質；或建造深層地質處置場，永久處置用過核子燃料，或處置經再處理所產生的高放射性廢棄物。

用過核子燃料的乾式貯存設施有其必要



我國核一廠內的用過核子燃料貯存水池，預計於民國99年喪失全爐心退出的保留空間，如果不能及時移放到乾式貯存設施內，將影響核一廠的正常營運，而造成電力調度困離，系統可靠度降低、替代能源排放二氧化碳等不利因素，將對國內經濟造成重大影響。


用過核子燃料乾式中期貯存設施
就是在核能發電廠內，用於貯存用過的核子燃料，等待再處理或最終處置的乾式貯存設施
乾式貯存方式有兩種
我國核一廠將採用這種混凝土護箱
混凝土護箱(乾式)
金屬護箱(乾式)
在美國已有多項使用實績
・在發電廠內貯存已有實績
・美國、日本均有採用金屬護箱作為乾式貯存設施的計畫
混凝土護箱 (請參照圖1)
容納「盛裝用過核子燃料的密封鋼筒」的圓柱型混凝土容器
密封鋼筒
盛裝用過核子燃料並經焊接密封的金屬容器
混凝土製貯存容器
具有屏蔽的作用，且能容納密封鋼筒的非密封型混凝土製容器
金屬護箱 (請參照圖2)
用於貯存及運送用過核子燃料的金屬容器，由本體、蓋部(雙層構造)、提籃等部分所構成(金屬護箱本身具有屏蔽作用)



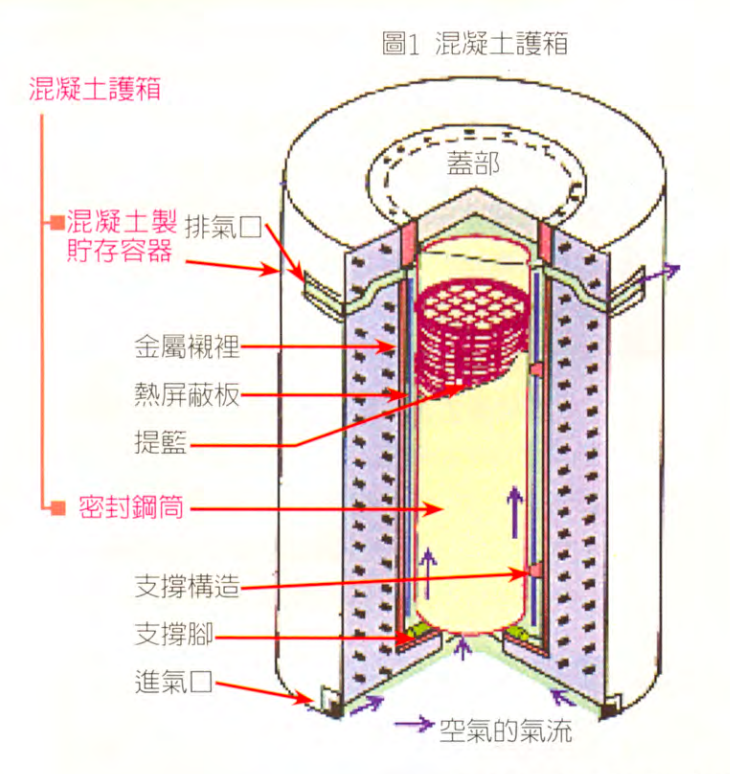


圖1 混凝土護箱

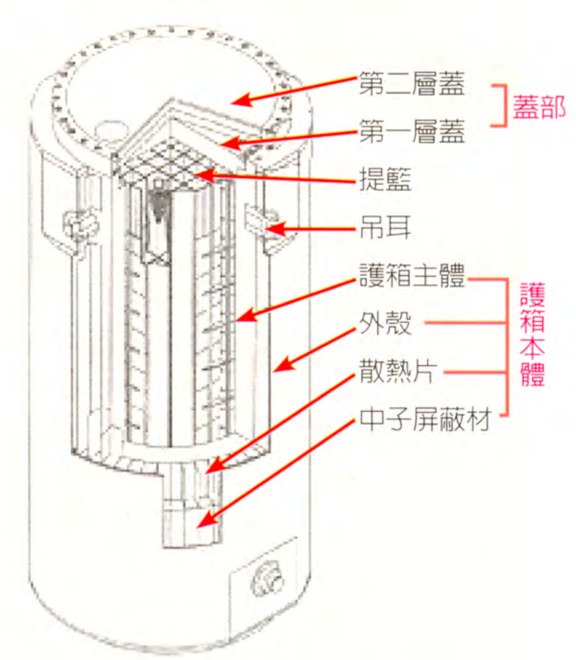


圖2 金屬護箱

混凝土護箱與金屬護箱的比較

種類	混凝土護箱	金屬護箱
功能	貯存專用	運送、貯存兼用
構造	構造上密封鋼筒(密封性能)與混凝土製貯存容器(屏蔽性能)可分離	盛裝用過核子燃料的容器與屏蔽體為一體的構造（或可分離）
貯存方式	盛裝用過核子燃料的密封容器，須先裝入運送容器後再搬入貯存設施	盛裝用過核子燃料的金屬護箱直接搬入貯存設施內
吊卸方式	將密封鋼筒從運送容器中換裝到混凝土製貯存容器後，再加以貯存	搬入貯存設施後不再重新裝填，直接貯存
熱傳方式	密封容器與混凝土製貯存容器之間流動的空氣有冷卻作用	護箱外側(屏蔽體外側)藉著空氣的氣流冷卻
搬運方式	從貯存設施搬出時，須將密封鋼筒裝入運送容器後再搬出	從貯存設施搬出時，護箱本身可當運送容器

原來大家都已經做了...

世界各國用過核子燃料的貯存概況

◆編輯室

2007年初全球共有31個國家使用核能發電，運轉中的機組計有435部，占全球電力供應的16%。

目前全球每年產生的用過核子燃料約為10,500公噸，2010年後預計每年約產生11,500公噸，直至2003年初為止，全球共約產生255,000公噸，扣除已再處理的數量後，約有171,000公噸存放在各種型式的貯存設施中，其中大部分是水池貯存，但乾式貯存已漸變成共同的貯存方式。全球約有12,000公噸是乾式貯存，其數量逐年在增加中。

在未來的10年中，由於西歐對用過核子燃料採用再處理的作法，所以貯存數量略微減少；東歐由於新核能電廠的加入運轉，所以貯存數量將倍增；美國因持續貯存用過核子燃料，所以貯存數量將持續上升，亞洲貯存數量亦將倍增。

有些國家為了解決已面臨或預計貯存設施容量不足的問題，已在陸續增建新的貯存設施。在2002年中全球共增建新的貯存設施容量為24,000公噸，其中乾式中期貯存占有17,500公噸，濕式貯存只有6,500公噸。





乾式貯存是屬於比較先進且成熟的貯存技術，目前日本、南韓、美國、加拿大、法國、德國、瑞典、比利時、捷克、羅馬尼亞等國發展乾式中期貯存設施都已相當多年。在美國已有36個乾式貯存設施持續運轉中，另有14個已完成簽約或正在規劃中，乾式貯存在美國已累積19年以上穩定、安全的運轉經驗。

到現在，世界各國越來越多的核能電廠都在廠區內興建用過核子燃料中期乾式貯存設施，讓各核能電廠在除役前能順利運作。

而我國核一廠用過核子燃料的乾式貯存系統，就是由核研所技術轉移自美國NAC國際公司，並經考量核一廠的特定需求所發展出來。而NAC所移轉的用過核子燃料乾式貯存系統，已獲得美國核能管制委員會審查通過並核准使用。將可安全無虞地貯存核一廠的用過核子燃料。

以下就來看看其他國家的成功案例：

加拿大

皮克靈（Pickering）核能電廠位於加拿大安大略湖畔，為全世界最大核能電廠之一，設置8部重水式核能機組，於1971年開始運轉發電，發電容量為4,120百萬瓦，足以供應200萬人口所需電力。





加拿大皮克靈電廠的乾式中期貯存設施

如同所有的核能電廠，皮克靈用過核子燃料自反應器退出後均貯存於水池中進行冷卻，水可以提供輻射屏障及冷卻衰變餘熱的功能，經過水池貯存10年以上的用過核子燃料，其輻射強度及衰變餘熱已大幅降低，所以可以改採藉由空氣冷卻的乾式貯存。

皮克靈乾式貯存護箱的照片如上，每只護箱可以貯存24到40束用過核子燃料，這些護箱具有雙重金屬密封環，以防止放射性物質

外釋到環境中。護箱高約17呎，直徑約9呎，內部填充氦氣以提供熱傳導功能，用過核子燃料剩餘微弱的衰變熱經由氦氣傳導到貯存護箱外部，再由空氣自然對流的方式進行冷卻，因為沒有主動元件，所以是一種非常安全與先進的貯存方式。

比利時

比利時共有7部核能機組，總裝置容量為5,909百萬瓦，核能發電占總發電量58%，預計40年的運轉壽命期間共將產生5,000噸用過核子燃料，由於目前比利時暫停用過核子燃料再處理，因此各核能電廠已面臨貯存容量短缺的問題。為此，興建用過核子燃料中期貯存設施做為因應。比利時採用兩種中期貯存方式，一為核能電廠廠內乾式貯存設施，二為核能電廠廠內集中式的濕式貯存設施。

Doel核能電廠是採廠內乾式貯存方式，所選用的貯存技術為運輸及貯存兩用的金屬護箱。於1994年開始建造，貯存容量為可放置165個金屬護箱，每1護箱可裝填20到37束用過核子燃料，已於1998年開始啓用。

資料來源：

1. http://www.iaea.org/cgi-bin/db.page.pl/pris.reaopucct.htm
2. "Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2030", IAEA, Reference Data Series No. 1, p. 13, July 2006
3. "Radioactive Waste Management Status and Trends-Issue #4", IAEA, p77, Feb. 2005.
4. http://www.nucleartourist.com/systems/dry_cask.htm
5. http://nuclear.engineering.tractebel.com/products/spentfuelmanagement/spent_fuel/story.htm



美國如何安全管理用過核子燃料



◆編輯室

固體用過核子燃料：體積小、能量大、安全貯存



核子燃料組件

重要事實：如果把所有美國核能工業40年來營運產生的5萬餘公噸用過核子燃料頭尾相接堆放，面積僅為一座橄欖球場大小，深度約達地下9公尺。

核能電廠使用氧化鈾燃料發電，燃料為陶瓷小丸型態，放在金屬燃料棒內。這些燃料棒組合成束，稱做燃料組件。核分裂--鈾原子連鎖反應的裂變，會因消耗物質的量，產生巨大的熱能。產生的能量用來將水煮沸成驅動汽輪發電機發電的蒸氣。

核能電廠每隔一年半到兩年會停機檢修，移除及替換已經釋出極大能量的最舊的燃料組件。

所有來自核能電廠的用過核子燃料都是固體型態。每年每座典型百萬瓩級的核能電廠產生的電力，足以供應74萬個家庭使用，產生約20公噸的用過核子燃料。

美國境內總數103部的商用核子反應器，每年共製造出約2,000公噸的用過核子燃料。今日，這些用過核子燃料都安全的貯存於核能電廠內，不是放在具有鋼材內襯的水池裡，就是放在鋼筋混凝土的容器中。

商用反應器可在廠內增設鋼筋混凝土容器。這類容器大多都有執照可供廠內貯存及運到處置場。除此之外，能源部正在研發多用途容器，以降低用過核子燃料包件的吊卸需求。

能源部最終還是會把核能電廠的用過核子燃料，移到聯邦集中管理的貯存設施、再循環設施或是聯邦處置場。這些方案的選擇將視燃料自電廠移出時，再循環技術的發展情況而定。但不論任何方案，永久深層處置設施都是必要的。

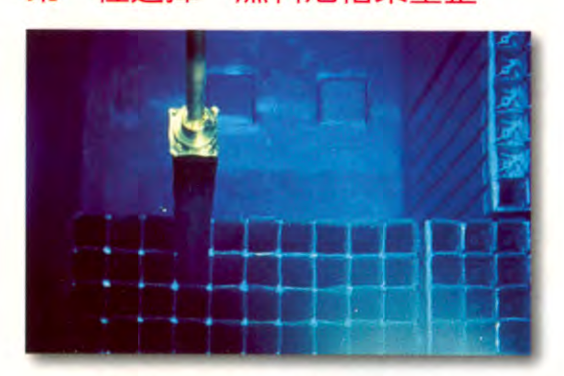
中期貯存方案：擴增廠內貯存容量

重要事實：用過核子燃料是安全貯存在核能電廠的固體物質，放在具有鋼材內襯的水池中，或放在具有鋼製金屬密封鋼筒的鋼筋混凝土容器中。美國核能管制委員會判定，用過核子燃料可安全貯存在核能

電廠內達百年之久。透過嚴密監控及維護安全的系統，公衆健康及安全得以確保。

由於美國政府建造處置場的進度延遲，迫使核能電廠貯存用過核子燃料的時間比原來預期更久，導致很多核能電廠現有的貯存容量都已接近上限。當核能電廠用過核子燃料池容量逼近當初設計值時，電廠公司有兩個選擇。

第一種選擇：燃料池格架重整



電廠典型的作法，會先選擇重整用過核子燃料池內的格架，把燃料組件擺得更密集。全美各地電廠已安全實施130餘次的格架重整。但是格架重整還是有它的極限。

因為燃料池還是有容量上限，蓋新的燃料池其實並不是個好主意。在電廠的設計規劃裡，本來就沒有多餘的空間可以容納這種占地甚廣的結構。雖然有些電力公司會把用過核子燃料從甲電廠，搬到有多餘貯存容量的乙電廠，但是對於大多數的電力公司來說並不可行。因此大部分的核能電廠會以重整格架的方式換取多餘的燃料池貯存空間，但有越來越多的電廠已經或正在興建使用鋼筋混凝土容器的廠內貯存設施。

第二種選擇：乾式中期貯存

除了重整燃料池格架外，美國為數約一半的核能電廠把用過核子燃料貯存在鋼製，或是鋼筋混凝土製成的大型堅固容器內。這些容器使用如鋼、混凝土及鉛等材質，替代水作為輻射防護屏障。依設計的不同，有的乾式貯存容器可以貯存達56個燃料組件。

美國核管會已核准數種供電廠使用的容器設計，執照年限達20年。執照到期之後需檢查容器，若獲核管會核可，執照還可再延長20年至40年。

裝入用過核子燃料的容器填滿如氦的惰性氣體，密封貯存在混凝土容器內或在混凝土地下碉堡(concrete bunkers)內。容器的設計在對抗自然災害如龍捲風、颶風及洪水，同時，還可防止放射性的外釋，且不需要冷卻及通風的機械裝置。

在核能電廠廠內建造乾式中期貯存設施，初期需要投資1000-2000萬美元。一旦乾式中期貯存設施開始運作，隨著貯存需求增長，



每年還需花費500到700萬美元作為添購容器和維護設施之用。電力消費者付給「核子廢棄物基金」(Nuclear Waste Fund)的費用內，就包含了這些成本。

廠外集中貯存設施

直到雅卡山處置場可接收用過核子燃料之前，美國還是需要集中式乾式中期貯存設施。藉由統合用過核子燃料、簡化移置其到再循環設施或永久地層處置場所需要的基礎交通建設，此類貯存設施可以提供更有效率的用過核子燃料管理系統。

過去40年來，美國境內已成功載送用過核子燃料超過3000次，公路、鐵路及駁船運輸里程達170萬哩。而美國境外則有數萬次成功的運輸紀錄。

根據能源部表示，當聯邦政府開放永久處置場時，每年大約會有175次、總數300到500個容器的用過核子燃料運送到雅卡山。



●雅卡山處置場是用過核子燃料的管理核心

多年研究結論顯示 用過核子燃料的最佳去處為深層地質處置場

自1950年代起，世界各地的研究組織即開始檢視放射性廢棄物營運的議題。大多的組織，包括美國國家科學院、國會技術評估辦公室、國際原子能總署以及經濟合作與發展組織核能署都做出相同的結論，各界均深信，要安全管理高放射性廢棄物，最好、最安全的選擇就是深層地質處置。

雅卡山是世界上做過最廣泛研究的深層地質處置場址，蒐集的各種科學數據分析顯示，用過核子燃料可以在雅卡山貯存達數千年之久，直到用過核子燃料因放射性衰減到不具危害性。

資料來源：

1.http://www.nei.org/index.asp?catnum=3&catid=300

2.http://www.nei.org/documents/Electronic_Presentation_Used_Nuclear_Fuel.ppt



我們也要這麼做...
美國的乾式中期貯存設施介紹

◆劉文忠

世界各國對於用過核子燃料的管理分成再處理、直接處置及延後決定三種方案。再處理受到國際公約的嚴格限制，而目前又還沒有最終處置場完工啟用，因此核能電廠在用過核子燃料池逐漸貯滿之際，許多電廠採取乾式中期貯存以存放用過核子燃料，以便電廠能繼續運轉。

美國目前運轉中的乾式貯存設施已有33座，另有17座正規劃興建中。經過嚴格且專業的評估，我國的乾式貯存將引進具有多年營運實績的美國NAC公司的混凝土護箱。以下就介紹美國Duke公司同樣使用NAC混凝土護箱的卡陶巴（Catawba）與麥快爾（McGuire）核能電廠的乾式貯存設施，藉此瞭解混凝土護箱的製造與貯存設施的安全管理。

卡陶巴核能電廠

卡陶巴電廠已完成貯存護箱混凝土的灌漿，且開始裝載用過核子燃料。貯存護箱直接在貯存設施基座上施工，基座厚度為3呎，混凝土強度約4500 psi。灌漿時需進行4項試驗，坍度試驗、密度試驗、空氣含量測試及抗壓試驗。每一個樣品需製作4個圓柱試體以進行抗壓測試，一個第7天，兩個第28天，另一個備用作為校正用。混凝土護箱的製造程序如下：

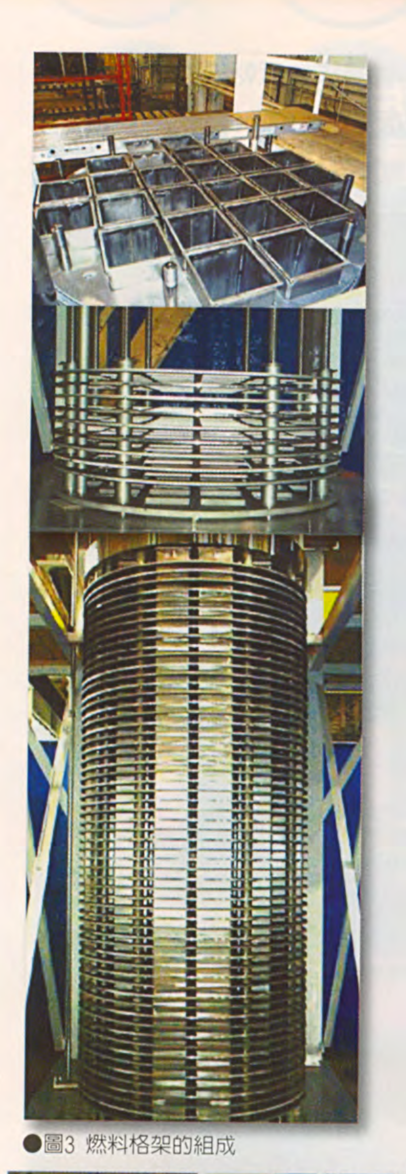


●圖1 密封鋼筒的組成



●圖2 密封鋼筒外殼的製造

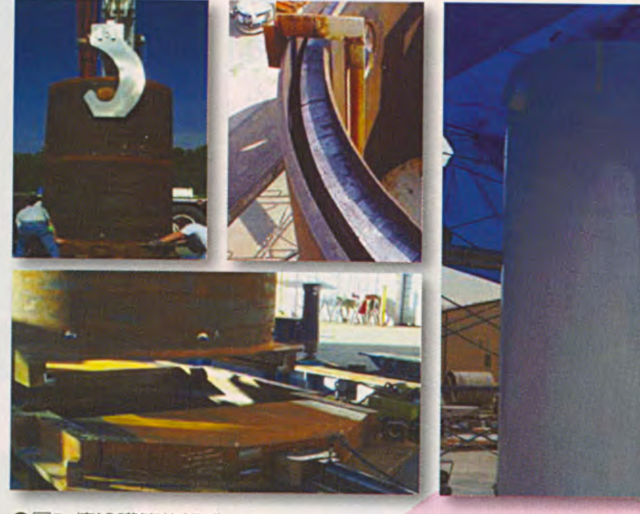




●圖3 燃料格架的組成



●圖4 燃料導管的加工與測試



●圖5 傳送護箱的組成



●圖6 護箱底板與內襯對位契合測試

護箱底板與內襯對位契合、綁鋼筋、架設模具、混凝土灌漿澆置、振動夯實、養護及拆模。混凝土灌漿澆置每次3-4小時，兩個護箱可同時澆置，澆置時須注意水溫控制，並於必要時考量加入冰水。對於已完成的混凝土表面如有小蜂窩則傾向不處理，至於大蜂窩（長、寬、深超過1吋者）則要修補。鋼模的設計施工圖與計算方法，是由施工承包商負責。

麥快爾電廠

目前該廠共貯放8個TN-32金屬護箱及6個NAC公司UMS混凝土護箱，2006年時再安裝18個NAC的UMS護箱。麥快爾及卡陶巴電廠共用貯存護箱的運送載具，以符合經濟原則。

乾式貯存設施基座以外有兩層圍籬，高約1.8-2公尺，兩圍籬間設置保安監測設施，如雷射或紅外線監視系統，圍籬內有攝影機、照明設備、紐澤西護欄及消防栓，外圍籬則再佈置熱發光劑量計(TLD)以執行環境輻射監測。貯存中的混凝土護箱，兩混凝土護箱中心間距約16呎，護箱上裝置溫度感測器以度量通風出口以及周遭環境的溫度差，通風進出口均設置金屬篩網防止異物入侵。

NAC-UMS貯存護箱已經過美國核管會核准，使用經驗非常豐富，成功的營運績效是設施設計周延及安全的保障。由NAC-UMS的營運實績顯現，我國核一廠乾式中期貯存設施將引進此系統應可符合安全的要求。

（本文作者為放射性物料管理局薦任技正）



●圖7 混凝土護箱的建造



●圖8 混凝土護箱完工圖





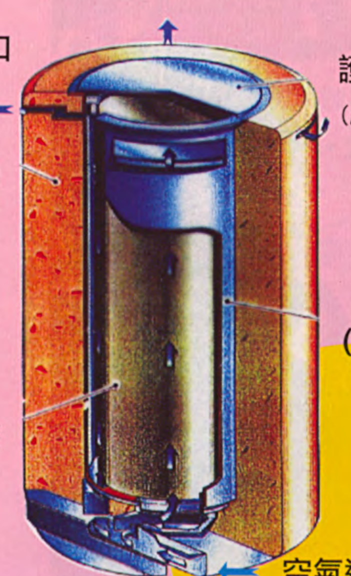
乾式中期貯存有沒有輻射的安全顧慮?



乾式中期貯存護箱設計有完善的防護功能，確保輻射不會外洩。

從用過核子燃料放射出的輻射，可藉由盛裝用過核子燃料護箱本體的屏蔽功能以及中期貯存設施的防護作用而降低它的強度。同時，經由設施內外的輻射監測，可確認貯存設施的安全性。此外，護箱是否確實維持密封狀態以及貯存設施內的溫度是否異常，都會不間斷地加以監測，以確保安全。





典型混凝土護箱示意圖

低放最終處置場選址計畫書公告囉！

◆編輯室

場址設置條例的法定時程及選址計畫的預定進度

場址設置條例於95年5月24日公布施行，經濟部依據第5條規定應於條例公布後3個月內成立低放射性廢棄物最終處置設施場址選擇小組，並依第6條規定會商主管機關(行政院原子能委員會)後指定最終處置設施選址作業者。

依據「場址設置條例」第7條規定，選址小組應於成立後6個月內擬訂選址計畫提報經濟部，經濟部應於收到選址計畫之日起15日內，將選址計畫刊登於政府公報並上網公告30日，且須會商主管機關及相關機關參酌機關、個人、法人或團體所提意見後，於公告期間屆滿2個月內核定。

選址作業執行進度 (至96年2月28日止)

1. 經濟部經會商行政院原子能委員會後，於95年7月11日指定台電公司為最終處置設施選址作業者。
2. 經濟部於95年8月23日成立選址小組，並於95年9月20日召開選址小組第1次委員會議。
3. 台電公司依據「場址設置條例」的選址程序，已將選址計畫草案於96年2月9日函送選址小組，選址小組於96年2月14日簽報經濟部辦理後續公告作業。

場址調查進度 (至96年2月28日止)

1. 台電公司已經依執行現況及「場址設置條例」完成「低放射性廢棄物最終處置計畫書」修訂，並依「放射性物料管理法」陳報行政院原子能委員會核備，目前正依據該會審查意見進行修訂，本計畫95年度下半年工作執行的情形也已依規定於96年2月26日陳報該會。
2. 台電公司依「場址設置條例」第20條規定，繼續執行該條例立法完成前，已在4處可能場址進行的各項調查工作：

(1) 已完成：4處可能場址的地形測量、地表地質調查、地表水文調查、背景輻射調查、社會接受性調查、地電阻地球物理探查。其中3處可能場址並已完成折射震測地球物理探查。

(2) 尚待進行：4處可能場址的地質鑽探、地下水文調查、地球化學調查、地工調查及試驗其中1處可能場址的折射震測地球物理探查。調查工作需要申請的手續已向地方政府提出或申覆中，並加強與地方的



溝通，期望能排除阻力，及早進行調查工作。

3. 有關部分可能場址調查作業的原住民保留地用地申請案，持續與原民會、各縣政府及原住民鄉溝通，取得原住民保留地的使用同意，以儘早進行各可能場址的現地鑽探等調查工作。

台電公司仍將協同各可能場址所在地的轄區營業處，繼續辦理地方社區的民眾宣導工作。

現況分析

低放射性廢棄物最終處置場選址計畫，已經由經濟部於3月16日正式公告。於4月15日公告屆滿，6月15日前核定計畫之後，台電公司就可依據計畫內容，進行處置場潛在場址提報的後續工作，正式進入選址作業的行動期。

台電公司也已於3月8日正式成立選址督導組，並在4個可能場址成立核後端宣導小組，以在地的台電員工與居民進行「人親土親」的近距離接觸。首要工作就是加強當地民眾對低放射性廢棄物的瞭解，對台電公司處理廢棄物的過程與輻射安全防護工作有正確的認知之後，較能接受最終處置場址的設置。

預計96年12月，選址小組即可提出潛在的處置場址。由於處置場址一旦確定設置何處之後，當地的各項地方建設、生活設施、交通網絡等工程都需要中央的政策主導，因此各部會之間的溝通與協調以及與主管機關的配合，則是經濟部目前的重點工作。



法國的低放射性廢棄物最終處置場

新世代核反應器將在美扮演重要角色

◆黃粟來 譯

-但研發時程與費用分攤上，官方、民間業者意見紛歧-

美國2005年能源政策法要求，2021年前，愛達荷國家實驗室研發的新世代核能電廠（NGNP）的原型核子反應器要開始運轉。但是對於NGNP的研究發展時程以及研發費用的分攤上，官方與民間業者意見紛歧。

美國能源部（DOE）助理副部長表示，DOE將在2021年之前選定NGNP的反應器設計與氫製造技術。

另一方面，DOE的能源研究諮詢委員會第四世代小委員會發表了「建議提前執行NGNP計畫並立即加以建造，隨著以後技術的進展，可用以提升計畫的品質」。

亞瑞華公司的美國法人T.克里斯多夫執行長也贊成這種意見，並主張「新的核子反應器技術推到市場上，若考慮其所需時間相當長，那麼就應立即開始建造，為得到市場的信賴，有必要達成確實看得到的進步」。

此外，通用（General-Motor）公司的L.班斯副總經理也主張：「不久的將來，為調整燃料電池的市場販賣體制，燃料電池技術相關的既安全又方便且低廉的氫製造技術是不可少的」。

另一方面，業者也表示「美國的核能產業界應盡全力設計、認證、以及建造已經改良的低成本且可安全運轉的新型輕水式核能電廠。至於NGNP，雖然是核子燃料循環不可或缺的一環，但就長期投資而言，應只有政府能夠勝任」。

美國DOE助理副部長對於要求早日實施NGNP的研發雖感到為難，但正在試探官方與民間合作的可能性。美國西屋公司高級副總經理兼首席技師R.美茲約主張：「雖然由官方與民間的合作，NGNP在10年內可以達成實證階段」，但是站在業者的立場，有關建造及運轉執照的申請，正面臨關鍵的時刻，DOE應該充分扮演指導者的角色。

—日本原子力產業新聞，No.2341，2006年8月24日
（本文譯者任職於原子能委員會）

更正啓事

本刊第104期「驚天動地90秒—恆春大地震當時的核三廠」文中的時間誤植為民國96年12月26日，應為民國95年12月26日，特此更正。

第二屆東亞個人游離輻射偵測研討會記事

◆翁寶山

一、楔子

承財團法人核能資訊中心董事長朱鐵吉教授推介，得以與輻協同事簡文彬組長一起赴日參加第二屆東亞個人游離輻射偵測研討會(The Second East Asia Workshop on Individual Monitoring of Ionizing Radiation)。開會地點為茨城縣東茨城郡大洗町千代田科技株式會社(股份公司)的大洗研究所。

民國95年12月1日上午抵達東京成田機場，由老友赤石準博士接機。赤石準博士原任職於前日本原子力研究所(JAERI)[註1]，現易名為日本原子力研究開發機構(JAEA)[註2]，常接待台灣赴日訪問的核能科技人員。

是晚在水戶市的Mito Plaza旅館舉行歡迎酒會，與會人士40位左右，來自中華民國、中國大陸、韓國、印尼、馬來西亞、越南、克羅埃西亞(Croatia，東歐)、以及地主國日本，酒會主持人為千代田科技公司的董事長細田敏和先生(圖1)主持，賓主盡歡。

二、參觀大洗研究所

第二天(12月2日)上午參觀大洗研究所，可分為兩分部：一為劑量計校正部分，另一為玻璃劑量計(glass dosimeter)的生產線。劑量計校正部分又可分為光子、貝他、以



圖1.筆者與細田敏和先生（右）於2006.12.3攝於東京淺草

及中子，與我國核能研究所、台電放射試驗室、以及清華大學等處的設備差不多。但玻璃劑量計的生產線卻為其特色。

早在1960年代，日本東芝公司即研發玻璃劑量計並銷售。玻璃劑量計利用輻射光致發光(radiophotoluminescence, RPL)原理，由游離輻射引發游離作用而產生自由電子和電洞，它們受晶格缺陷捕獲而形成捕獲中心。被捕獲的電子或電洞受紫外光刺激即發生躍遷並產生螢光，所產生螢光的量與劑量成比例。

玻璃劑量計問世後，德國卡魯斯(Karlshruhe)核能研究中心加以改進做為人員與環境劑量計，但卻只限當時的西德。近10年來，改進玻璃成份，並以雷射取代紫外光，玻璃劑量計乃在日本流行。

三、研討會記實

研討會於12月2日下午開始，第一篇為克羅埃西亞的輻射防護協會會長馬利亞(Maria Ranogajec-Komor)女士(圖2)報告歐洲固態劑

量測定術的現況。在國際會議上第一位上台演講者表示受到尊重。筆者列為第二位，講題為台灣應用熱發光劑量測定術的發展。

第三篇由越南代表報告利用熱發光劑量計氟化鋰與硫酸鈣(鏑)做為個人劑量計的現況。第四篇是由馬來西亞代表報告維持人員劑量測定術服務的品質和議題。第五篇是由印尼代表報告個人偵測服務的現況。第六篇是由大洗研究所壽藤紀道先生報告玻璃劑量計和偵測中子用CR-39塑膠偵檢器。第七篇是由克羅埃西亞代表報告臨界事故用的化學和固體劑量計。第八篇是由克羅埃西亞代表報告診斷放射學用不同劑量測定術的比較。第九篇是由克羅埃西亞代表報告克羅埃西亞的科學政策。

12月3日的講題如下：

第一篇由上海復旦大學放射醫學研究所卓維海教授報告中國大陸職業曝露的一般狀況和趨勢。第二篇是由韓國代表報告韓國診斷放射學的輻射安全管制。第三篇是由韓國代表報告人員劑量計的認證方案。第四篇是由與大洗研究所合作的大阪大學山本尚義教授報告熱刺激逐放電子發射(TSEE)註3與其應用。

演講結束後，12月3日下午，大洗研究所山林尚道先生(圖3)率大洗研究所人員送行。



圖2.克羅埃西亞射防護協會會長馬利亞（中）與其夫婿和筆者於2006.12.2攝於會場



圖3.山林尚道先生（正直中央）暨大洗研究所人員於2006.12.3送別與會人士

三、後語

綜觀東亞各國(包括克羅埃西亞)代表的報告，仍以熱發光劑量計為主。核能研究所和陽明大學早於2002年9月即開始進行玻璃劑量計和熱發光劑量計的比較實驗，近年來更進一步試研製磷酸(A_gPO_4)玻璃。2006年冬清華大學開始研究另一種人員劑量計，係依據光學性刺激發光(OSL)註4原理，俗稱「冷」發光劑量計，美國商品名為Luxel。今後的走向應視研究實驗的結果與經濟因素而定。

（本文作者為財團法人中華民國輻射防護協會董事長）

註1：JAERI = Japan Atomic Energy Research Institute
註2：JAEA = Japan Atomic Energy Agency
註3：TSEE=thermally stimulated exoelectron emission
註4：OSL = optically stimulated luminescence



美國展開全球核能計畫

美國能源部宣布啓動「全球核能夥伴」新策略計畫，執行方式包括準備計畫設施地點的環境影響報告等。新策略計畫將評估3種設施：(1)再處理與燃料製造廠的燃料再循環中心；(2)進步型再循環反應器－燃燒以鋼系元素為主的燃料，並轉換超鈾元素的快中子反應器；(3)先進核子燃料循環研究設施。能源部認為前兩項設施應由工業界領軍啓動。目前已有13個場址考量作為設施場址。

「全球核能夥伴計畫」的國際面在於，前述(1)及(2)項設施大概需在2020年以前運作，並以2008年中期開始進行為目標，以使燃料服務可作為其他國家不建造濃縮與再處理廠的誘因。「全球核能夥伴計畫」涉及未處理過燃料的供應以及美國、日本與俄羅斯提供燃料的回收服務。該計畫也會發展設置適合開發中國家電力網路的進步型抗滋生反應器，和加強反應器的安全防護。

美國和日本已同意展開以「全球核能夥伴計畫」及新建核能電廠為中心，為期3個月的核能合作計畫。除此之外，日本也有意參加能源部「未來發電」(FutureGen)的潔煤工程計畫。

Nucleonics Week 11/1/07, NuclearFuel 15/1/07, GNEP strategic plan.

歐盟能源政策草案削減碳排放 肯定核能

歐盟執行委員會呼籲歐盟以清潔、低排碳能源為基礎，「領導全球展開新工業革命」。歐盟執委會並已針對2007年3月即將召開的歐盟高峰會，提出能源策略評估。評估內容表示，在2020年之前，溫室氣體排放量應以1990年的排放量為基準單方面減少20%(目前的減量承諾是8%)。歐盟碳排放交易計畫被視為是減量計畫的關鍵機制，需要強化並擴大實施範圍和時間。

雖然歐盟缺乏再生能源發展目標，且大多數的宣言仍跟再生能源有關，但歐盟指出，核能發電作為最低成本無碳的選擇，對歐盟能源安全與二氧化碳的減量有相當大的貢獻。在歐盟27個成員國中，15個國家、總數152部核子反應器提供了1/3的發電電力。核能是歐洲二氧化碳零排放的最大電力來源，並且是歐盟減碳方案重要的一環。

雖然歐盟提出警告，任何減少核能發電容量的行為均會危及碳減量計畫及能源安全性，並且造成電價提高，但會員國仍可自行決定是否增建電廠。歐盟把「碳捕獲和貯存」視為一項重要技術，並冀望在2050年前逐步淘汰未具此技術的化石燃料電廠。然而，目前還沒有任何商轉電廠應用此技術。

歐洲原子能論壇(Foratom)表示，他們樂見歐盟執委會肯定核能在歐盟能源供應安全、氣候變遷與競爭力方面的重要貢獻，論壇主席並強調核能是歐盟現在與未來能源組合中不可或缺的一份子。

EC 10/1/07. Foratom 10/1/07. Nucleonics Week 11/1/07. EU Energy policy draft

能源危機進逼 德國政壇煙硝起

德意志銀行日前出爐的一份報告，引發德國聯合政府內部爭端。這份報告警告，德國如果徹底實現逐步淘汰核能政策，將觸發連串惡果--二氧化碳排放目標大幅落後、電價飆高、苦於更頻繁的停電以及對自俄羅斯進口天然氣依賴遽增。除非德國調整立法通過的核能電廠關閉時程表，否則4座自1957-1977年開始運轉的大型反應器(總計將近400萬瓩的電力)，將於2009年底前關閉。

德國經濟部長與電廠經營者緊急呼籲政府重審該政策。德意志銀行評估，如果反應器關閉計畫持續進行，2022年之前必須完成建造4200萬瓩電的發電容量。目前德國每年補助生產全國55%電力的煤礦業達25億歐元（未補助的核能發電量占全國電力31%）。

AFP 10/1/07. FT 22/1/07. The Times in Australian 25/1/07. Foratom web site.

中國大陸核電標案 西屋得標

經過22個月努力將標案提升到政治層面後，美國西屋公司成功出線，獲中國國家核電技術公司欽點興建4部AP1000型核能反應器機組。這4部反應器是中國第3代核能電廠的開路先鋒，而美中雙方合約涉及主要技術的轉移。其中半數的110萬瓩電級機組將在浙江省三門核能電廠興建(屬中國核工業集團)，另2部則計畫建於廣東省陽江核能電廠(屬中國廣東核能電力公司)。

亞瑞華的歐洲壓水式反應器雖然於此次標案大戰敗北，但該公司仍期望能在中國大陸其他廠址賣出2部。俄羅斯核電建設出口公司(Atomstroyexport)亦曾參與投標，但在先前便遭淘汰。

三門、陽江兩座電廠核能部分的合約約值50億美元（汽渦輪機分開採購），約有一半將在中國大陸當地建造，預計2013年運轉第1部機組。美國能源部長與中國大陸國家發展與改革委員會簽署了核能技術轉移的協議。合約預計在今年（2007）初即會簽訂。

Westinghouse 16/12/06. Nucleonics Week 21/12/06. Nuclear.Ru 17/1/07.

東亞高峰會聚焦能源議題

在菲律賓宿霧召開的東亞高峰會議中，與會的16個國家代表一致同意，各國應降低對傳統化石燃料的依賴、降低溫室氣體的排放量並加強地區能源安全。中國大陸總理



溫家寶誓言擔任主動角色。大會宣言指出，「再生能源與核能的能源供應比重將日益增加」。東亞高峰會的成員除東協10國外，還有中國、印度、日本、南韓、澳洲與紐西蘭等6個國家。

AFP 15/1/07, http://www.aseansec.org/

國內新聞

多年來台電公司在澎湖、台東、屏東相中4處低放射性廢棄物處置新場址，其中以澎湖東吉島為首選，為了獲得當地居民的支持，台電將在4月以在地的台電員工成立「核後端宣導小組」，與居民進行溝通。

但台電主管昨日表示，絕對沒有鎖定東吉島作為低放射性廢棄物最終處置設施場址，因為根據立法院去年通過「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」，該場址須經過公民投票，公投又以縣為單位，為了進行公投，當然必須與民眾溝通，讓民眾了解公投的內容與目的，以及什麼是最低放射性廢棄物，還有它的處理過程。

台電曾經探勘全台地質，有39處適宜地點，再考量遠離人口及社會接受度，目前考量的場址有位在澎湖、台東、花蓮及屏東，台電依法在這4縣成立溝通中心。

(2007.03.07.中國時報)

台電祭出最高50億元的巨額回饋金，爭取地方支持設置放射性廢棄物最終處置場。但是東吉島所屬的澎湖望安鄉如今仍不為所動，台東也有反對聲浪；但屏東縣牡丹鄉旭海村觀音鼻同意台電先行探勘，甚至同意台電在此設處置場。

屏東縣牡丹鄉旭海村觀音鼻是台電低放射性廢棄物最終處置場4個選擇地點之一，上個月鄉內召開部落會議，全數贊成讓台電先期探勘場址，日前鄉公所也行文台電表明此項決議。

牡丹鄉長林傑西說，若台電能確保處置場安全無虞，且有可觀回饋金充實鄉公所財政，建設鄉里，牡丹鄉樂觀其成。只是縣長曹啓鴻說，公投法已通過，按法律不能由局部的鄉鎮來公投決定，須以縣市為單位，全縣公民來決定放射性廢棄物最終處置場是否在當地設立。

台東縣大武鄉代會主席趙世崇說，台電承諾給予25億元回饋金，擴建大武漁港和核能發展博物館。根據之前民調，地方有七成民眾，贊成設置放射性廢棄物處置場。(2007.03.07.中國時報)



六氟化鈾轉化公司(COMURHEX)在皮埃爾拉特(Pierrelatte)廠區的高溫反應槽。
該公司是全球最大的轉化公司，台灣電力公司也是其客戶之一。（法國COGEMA公司提供）